

ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМІВ ПРОЦЕСУ АНАЕРОБНОГО ЗБРОДЖУВАННЯ СТИЧНИХ ВОД М'ЯСОПЕРЕРОБНОГО ПІДПРИЄМСТВА У МЕЗОФІЛЬНИХ УМОВАХ

Г. В. Крусір, О. О. Чернишова

Одеська національна академія харчових технологій
вул. Канатна 112, м. Одеса, 65039, Україна. E-mail: krusir.onaft@gmail.com,

В. М. Поліщук

Національний університет біоресурсів і природокористування України
вул. Героїв Оборони, 15, м. Київ, 03041, Україна. E-mail: rectorat@nubip.edu

Метою дослідження була оцінка принципової можливості очищення стічних вод м'ясопереробного підприємства методом анаеробного збродження в анаеробному біореакторі. Експериментальні дослідження виконано шляхом збродження субстратів у періодичному біореакторі UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket reactor). У ході роботи були визначені загальні параметри впливу на показник ХСК (хімічне споживання кисню) та вихід метану в результаті анаеробних реакцій. Враховуючи отримані результати, проведено низку експериментальних досліджень анаеробного збродження стічних вод м'ясопереробного підприємства шляхом метаногенезу при мезофільному температурному режимі ($39 \pm 1^\circ\text{C}$). Досліджено ефективність видалення органічних забруднень, вихід біогазу та метану під час анаеробного збродження різних субстратів з варіацією вагового співвідношення стічної води : активний мул протягом трьох циклів, які включали стічні води, а також жирову фракцію стічних вод в присутності активного мулу та без нього, що дозволило оцінити ступінь самозброджуваності стічних вод. Таким чином, вперше надана оцінка та порівняльна характеристика стічних вод м'ясопереробного підприємства та стічних вод з високим вмістом жирової фракції у якості субстрату для виробництва біогазу шляхом анаеробного збродження. Результати дослідження підтвердили, що за умови додаванням активного мулу, субстрати першого та третього циклів можуть бути використані для виробництва метану при мезофільному режимі.

Ключові слова: анаеробне збродження, стічні води, біогаз, біореактор, метан.

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ ПРОЦЕССА АНАЭРОБНОГО СБРАЖИВАНИЯ СТОЧНЫХ ВОД МЯСОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ В МЕЗОФИЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ

Г. В. Крусір, О. О. Чернышова

Одесская национальная академия пищевых технологий
Ул. Канатная 112, г. Одесса, 65039, Украина. E-mail: krusir.onaft@gmail.com, lesenok.chernyshova@gmail.com

В. Н. Полищук

Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины
Ул. Героев Обороны, 15, г. Киев, 03041, Украина. E-mail: rectorat@nubip.edu

Целью исследования была оценка принципиальной возможности очистки сточных вод мясоперерабатывающего предприятия методом анаэробного сбраживания в анаэробном биореакторе. Экспериментальные исследования выполнены путем сбраживания субстратов биореакторе UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket reactor) периодического действия. В ходе работы были определены общие параметры влияния на показатель ХПК (химическое потребление кислорода) и выход метана в результате анаэробных реакций. Учитывая полученные результаты, проведен ряд экспериментальных исследований анаэробного сбраживания сточных вод мясоперерабатывающего предприятия путем метаногенеза при мезофільном температурном режиме ($39 \pm 1^\circ\text{C}$). Исследована эффективность удаления загрязнений, выход биогаза и метана при анаэробном сбраживании различных субстратов с вариацией весового соотношения сточные воды : активный ил в течение трех циклов, которые включали сточные воды, а также жировую фракцию сточных вод в присутствии активного ила и без него, что позволило оценить степень самосбраживаемости сточных вод. Таким образом, впервые дана оценка и сравнительная характеристика сточных вод мясоперерабатывающего предприятия и сточных вод с высоким содержанием жировой фракции в качестве субстрата для производства биогаза путем анаэробного сбраживания. Результаты исследования подтвердили, что при добавлении активного ила, субстраты первого и третьего циклов могут быть использованы для производства метана при мезофільном режиме.

Ключевые слова: анаэробное сбраживание, сточные воды, биогаз, биореактор, метан.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Серед різноманітних методів очищення СВ (стічних вод) анаеробне збродження вважається одним з найбільш ефективних шляхів очищення багатокомпонентних стічних вод, що характеризуються високим вмістом органічних речовин та зважених частинок.

Біохімічні та мікробіологічні аспекти процесу анаеробного збродження залежать від складних умов, що виникають у процесі розвитку різних мікробіальних співтовариств з одночасним протіканням відповідних біологічних реакцій, що, як правило, специфічні до субстратів. Ефективність

Розробка екологічно безпечних технологій, процесів і устаткування

процесу анаеробного зброджування у біореакторі залежить від темпів росту та розвитку груп мікроорганізмів, які в свою чергу обумовлені такими показниками, як співвідношення Карбону та Нітрогену, кількість мікроелементів та летких жирних кислот (ЛЖК), що визначає метаболізм бактерій [1].

За загальною схемою анаеробне зброджування складається з чотирьох фаз: гідроліз, ацидогенез, ацетогенез та метаногенез (рис.1). Протікання кожної з фаз забезпечують відповідні мікробіальні співтовариства, результатами діяльності яких є різноманітні продукти розпаду, що відіграють роль субстрату для наступної фази.

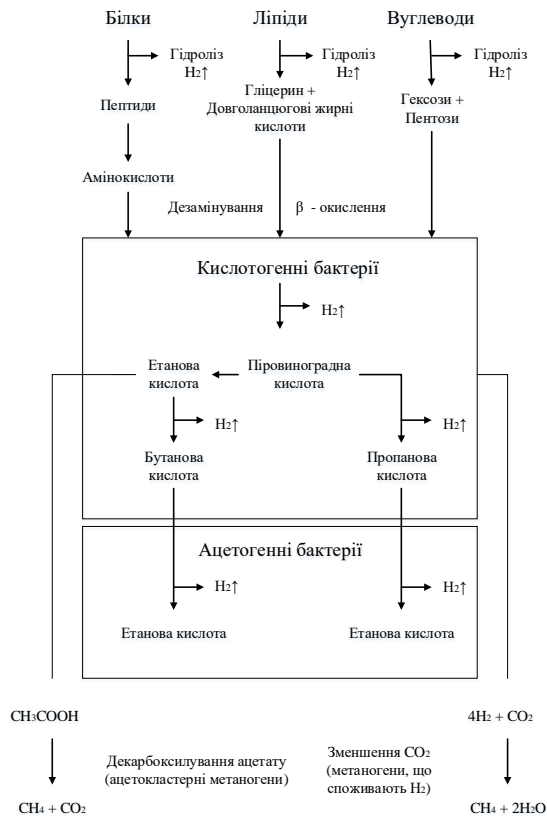


Рисунок 1 – Загальна схема анаеробного зброджування

Під час першої фази такі складні органічні сполуки, як полісахариди, ліпіди та білки, гідролізуються з подальшим утворенням більш простих сполук – олігосахаридів, моносахаридів, амінокислот та жирних кислот. Друга фаза, ацидогенез, характеризується ферментативними перетвореннями амінокислот та низькомолекулярних вуглеводів, що призводить до підвищення вмісту проміжних продуктів процесу зброджування та ацетату або вуглецю. Фаза ацетогенезу передбачає перетворення пропанової, бутанової та інших вищих жирних кислот (ВЖК) до етанової. Метаногенез є заключною фазою у процесі анаеробного зброджування під час якої бутират, пропіонат та ацетат перетворюються у метан [2]. Таким чином, забезпечується безперервний багатокомпонентний процес перетворення

органічних речовин до кінцевих продуктів – біогазу, парів води та вуглекислого газу.

Основними факторами впливу на процес анаеробного зброджування субстрату у реакторі є температура, рівень рН, вміст поживних речовин, токсичних речовин, летких жирних кислот, важких металів, ліпідів та вуглеводів, часу гідравлічного утримання, швидкості потоку субстрату та навантаження на мул [3]. При дослідженні процесу зброджування стічних вод м'ясопереробного виробництва обґрунтовано необхідність контролю таких показників, як рівень рН, окисно-відновний потенціал (ОВП) субстрату, вихід біогазу та вміст метану у ньому. Анаеробні процеси утворення метану залежні від температурного режиму, який може виступати інгібітором або активатором діяльності мікробіальних співтовариств системи. Для забезпечення активного росту метаногенних бактерій температура робочої суміші реактору повинна знаходитися у межах від 37°C до 55°C.

Основними перевагами обробки стічних вод у біореакторі відзначають високий відсоток видалення ХСК (хімічне споживання кисню), низька кількість утворення надлишкового мулу та його стабільність, утворення біогазу. Ефективність роботи реактору залежить від його фізичних параметрів та біологічних процесів, що відбуваються у ньому. Більш детальне вивчення ролі таких параметрів та процесів необхідне для подальшої оптимізації роботи обладнання. Широке застосування реактори знайшли на підприємствах харчової та хімічної галузі, стічні води яких характеризуються високим вмістом органічних речовин та біогенних елементів.

Метою даної роботи є оцінка принципової можливості очищення стічних вод м'ясопереробного підприємства (МПП) методом анаеробного зброджування в анаеробному біореакторі.

МАТЕРІАЛИ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ.

Експериментальні дослідження виконано шляхом зброджування субстратів у біореакторі з висхідним потоком рідини крізь шар анаеробного мулу UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket reactor) періодичної дії загальним об'ємом у 30 дм³ (рис. 2). Досліджено анаеробне зброджування субстратів СВ МПП з різним ваговим співвідношенням активного мулу у трьох циклах у мезофільних умовах за температурним режимом 39±1°C та рН середовища 6,5-7,5 од. рН. Впродовж експериментального дослідження контролювались показники кількості біогазу і метану, що утворились, показник ХСК, значення ОВП та рН середовища.

На початку кожного циклу стічні води та активний мул подавались до реактору, після чого кран герметично закривався. Робочу суміш нагрівали до 39°C за допомогою нагрівального тону, який, за необхідністю, включався автоматично. Стабільна температура робочої суміші забезпечувалась водяною рубашкою з температурним сенсором. Перемішування субстрату здійснювалося за допомогою автоматичної мішалки періодичної дії. Об'єм біогазу, що виділявся,

Розробка екологічно безпечних технологій, процесів і устаткування

збирався та вимірювався у водяному газгольдері загальним об'ємом 5 дм³.

Для визначення значення рН реакційного середовища використовувався рН-метр Hanna HI2210 з діапазоном рН від -2 до 16±0,01 од. рН та температури від -0,9 до 120±0,5°C. Значення окисно-відновного потенціалу контролювалось ОВП-метром ORP-200 з діапазоном від -999 до +1000±2 мВ. Показник ХСК визначався відповідно до стандарту КНД 211.1.4.021-95. «Методика визначення хімічного споживання кисню (ХСК) в поверхневих і стічних водах».

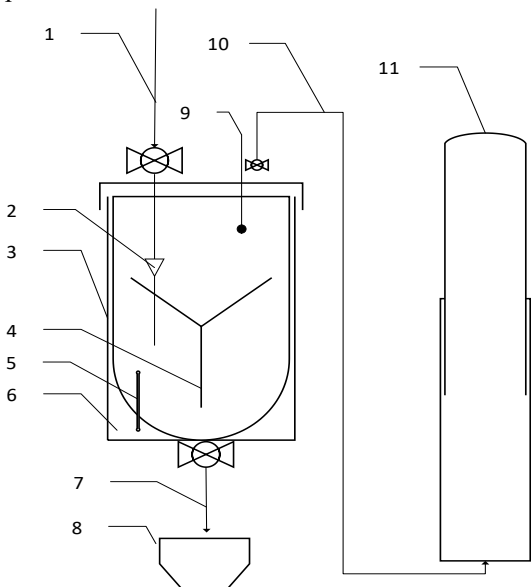


Рисунок 2 – Апаратурно-технологічна схема анаеробного зброджування стічних вод 1 – подача СВ; 2 – потік СВ; 3 – біореактор; 4 – електрична мішалка; 5 – нагрівальний елемент; 6 – водяна рубашка; 7 – потік надлишкового мулу; 8 – ємність для збору мулу; 9 – температурний сенсор; 10 – потік біогазу; 11 – водяний газгольдер.

У ході роботи проведено дослідження трьох циклів зброджування різних субстратів, що включали стічні води, а також жирову фракцію СВ в присутності активного мулу та без нього, що дозволило оцінити ступінь самозброджуваності СВ. Субстрат першого циклу містив СВ МПП та активний мул у ваговому співвідношенні 3:1, вміст сухих речовин – 8%, рівень рН субстрату – 6,25 од. рН. У другому циклі у якості субстрату використовували стоки м'ясопереробного виробництва без додавання активного мулу, що дозволило оцінити ступінь самозброджуваності субстрату. Вміст сухих речовин другого субстрату становив 6%, рівень рН досяг 6,44 од. рН. Субстрат третього циклу представлений жировою фракцією СВ МПП та активним мулом у ваговому співвідношенні 3:1, вміст сухих речовин – 9%, рівень рН становив 6,2 од. рН.

Більшість органічних речовин потрапляють у СВ МПП з цеху забою від крові та субпродуктів. За літературними даними 40-50% таких речовин представлені погано розчинними крупними зваженими частинками з низькою швидкістю

біорозкладання, інші 60-50% представлені розчинними колоїдними частинками з розмірами частинок, що змінюються у діапазоні від 1 до 100 нм [4]. Це основна відмінність СВ МПП від комунальних СВ, органічні речовини яких знаходяться переважно у колоїдній формі. Загалом виділяють три групи органічних речовин, які впливають на показник ХСК: сполуки, що легко піддаються біорозкладанню, сполуки з низькою швидкістю біорозкладання та інертні сполуки. Фракція речовин, що легко піддаються біорозкладанню залежить від типу попередньої обробки СВ, часу зброджування та періоду витримки субстрату до аналізу. Вважається, що ця фракція безпосередньо пов'язана з ростом мікробіальних популяцій. Субстрати, що досліджувались, не піддавались попередній обробці та витримці перед зброджуванням. Дослідження динаміки зміни показника ХСК субстратів в трьох циклах зброджування наведено на рис. 3. Результати проведених досліджень протягом першого циклу дозволяють стверджувати, що протягом першого циклу показник ХСК зменшується на 40,9%, в другому циклі зміна показника складала 48,7%, а під час третього циклу зменшення показника ХСК становило 42,8%. Таким чином, найбільш значна деструкція органічних речовин мала місце для субстрату, що включав лише стічні води м'ясопереробного підприємства. Відсутність активного мулу в другому субстраті, як наслідок, відсутність явища виносу мулу та повторної контамінації очищених стічних вод, забезпечило значний відсоток видалення ХСК під час другого циклу. Аналіз зміни показника ХСК в процесі зброджування СВ у анаеробному реакторі під час трьох циклів свідчить про необхідність запобігання виносу біомаси з реактора та застосування додаткового обладнання первинної очистки, а також процесів доочищення води. Слід також зазначити, що з причини значного вмісту органічних речовин, СВ МПП мають потенціал для використання у якості субстрату при отриманні біогазу у промислових масштабах.

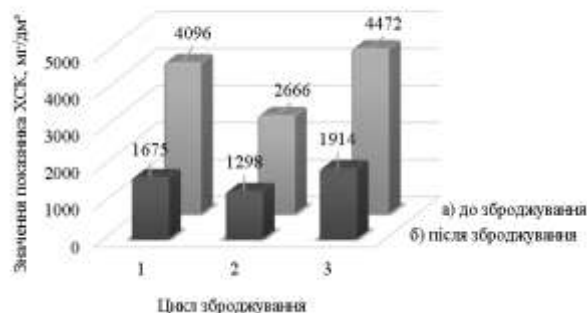


Рисунок 3 – Динаміка зміни показника ХСК, де 1 а) і б) – значення показника ХСК до і після зброджування відповідно на протязі першого циклу, 2 а) і б) – значення показника ХСК до і після зброджування відповідно на протязі другого циклу, 3 а) і б) – значення показника ХСК до і після зброджування відповідно на протязі третього циклу.

Розробка екологічно безпечних технологій, процесів і устаткування

Одним з основних індикаторів, що демонструє ефективність анаеробного зброджування відходів, що біологічно розкладаються, є кількість біогазу, що виділяється. Згідно результатів дослідження впродовж 18-ти днів бродіння протягом першого циклу виділено 29,5 дм³ біогазу з об'ємною часткою СН₄, що складала 62±1%, у другому циклі виділено 6,3 дм³ біогазу з об'ємною часткою СН₄ 48±1%, під час третього циклу вихід біогазу становив 16,8 дм³ з об'ємною часткою СН₄ 68±1%. Результати дослідження інтенсивності виділення біогазу під час трьох циклів зброджування наведено на рис. 4.

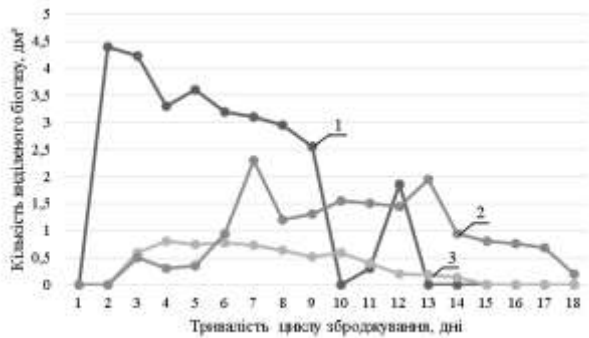


Рисунок 4 – Динаміка інтенсивності виділення біогазу, де 1 – перший, 2 – другий та 3 – третій цикли зброджування субстратів.

Як свідчать результати експериментальних досліджень, що наведені на рис. 4, найбільший об'єм біогазу впродовж 18-ти днів метанового зброджування зафіксовано одночасно для субстратів, що включають активний мул, а саме стічні води та жирова фракція СВ.

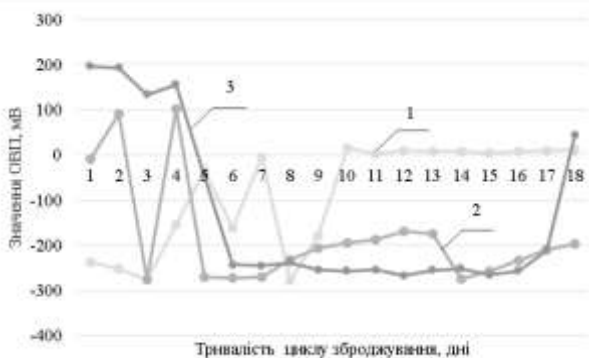


Рисунок 5 – Значення ОВП субстрату під час зброджування, де 1 – динаміка зміни значення ОВП першого, 2 – другого та 3 – третього циклу.

Достовірним є твердження, що метанове бродіння є повною анаеробною деструкцією органічних речовин у ході різноманітних реакцій, в основі яких лежать окисно-відновні процеси, з подальшим утворенням кінцевих продуктів – метану та вуглекислого газу. З літературних даних відомо, лімітуючим фактором при анаеробній трансформації органічних речовин є діяльність первинних анаеробів, для яких оптимальне значення ОВП знаходиться у діапазоні від -260...-140 мВ та нижче [5]. Динаміка зміни значень ОВП субстратів під час експериментального зброджування наведена на рис.

5. Відхилення рівноваги окисно-відновного процесу у ході циклу свідчить про інгібування первинної фази анаеробного зброджування.

Результати експериментального дослідження зміни ОВП характеризуються наявністю екстремальних точок, що може свідчити про накопичення ЛЖК, що утворюються при гідролізі ліпідів. Результати дослідження ОВП підтверджують зазначену залежність, оскільки у субстраті другого та третього циклу на фазі гідролізу значення ОВП значно відхилилося від норми, що пояснює знижені темпи утворення біогазу.

ВИСНОВКИ. Найбільша кількість біогазу утворюється зі змішаного субстрату першого циклу, що складається з стічної води та активного мулу у ваговому співвідношенні 3:1, а саме 29,5 дм³ за 18денний термін зброджування. Вихід біогазу від субстрату другого циклу менше на 79% у порівнянні з першим циклом та становить 6,3 дм³, що пояснюється відсутністю достатньої кількості метаногенних мікроорганізмів, що потрапляють у процес зброджування у складі активного мулу. Під час зброджування субстрату третього циклу, що складався з жирової фракції стічних вод та активного мулу, утворилось 16,8 дм³ біогазу, що вдвічі менше за результат зброджування стічних вод без жирової фракції. Цей цикл характеризується тим, що виділення біогазу почалося на відміну від інших циклів на 3-й день і тривало 5 днів після закінчення дослідження, що свідчить про необхідність додаткової попередньої обробки при більш високій температурі або додавання у субстрат вуглеводів, які стимулюють ріст мікроорганізмів (архей та бактерій), що відповідають за виділення біогазу. Результати дослідження підтвердили, що за умови додавання активного мулу субстрату першого та третього циклів можуть бути використані для виробництва метану при мезофільному режимі.

Під час дослідження найвищий вміст метану в біогазі, а саме 68%, має місце у період третього циклу на 14-й, 15-й день зброджування, частка метану у біогазі, що утворився у першому та другому циклах, становила у середньому 62% та 48% відповідно. В подальшому доцільно передбачити дослідження щодо інтенсифікації процесів ліпідів з метою отримання метану.

За результатами досліджень зміни динаміки видалення органічних речовин в процесі зброджування СВ у анаеробному реакторі протягом першого циклу видалено 40,9% ХСК, у другому циклі, де присутні СВ, цей показник збільшився на 7,8%, під час третього циклу видалення ХСК в порівнянні з результатами, що мали місце для першого циклу, збільшились на 1,9%. На результати видалення показника ХСК вплинула наявність активного мулу у першому і третьому циклі та відсутність виносу активного мулу в очищені стоки під час другого циклу зброджування. Аналіз зміни показника ХСК свідчить про необхідність попередньої обробки субстрату для підвищення ефективності видалення органічних речовин у формі

Розробка екологічно безпечних технологій, процесів і устаткування

зважених частинок, які характеризуються низькою швидкістю біорозкладання.

Результати експериментального дослідження зміни ОВП характеризуються наявністю екстремальних точок, які можуть свідчити про відхилення рівноваги окисно-відновних процесів у реакторі, що відображається на перебігу фаз метанового бродіння. Під час другого циклу зброджування, субстрат якого представлений СВ МПП, значення ОВП становило +91 мВ на 2-ий день та +103 мВ на 4-ий дні циклу, відповідно вихід біогазу у ці дні був мінімальним. Значення ОВП третього циклу, де субстратом виступала суміш жирової фракції СВ та активного мулу, на протязі 5-ти перших днів циклу характеризується максимальним показником у +197 мВ, що свідчить про накопичення ЛЖК під час гідролізу ліпідів. Починаючи з 6-го дня третього циклу значення ОВП змінювалось у діапазоні -267 мВ...-211 мВ, що вказує на стабілізацію процесу. Таким чином, такий параметр як значення ОВП субстрату під час зброджування, може відігравати роль індикатору рівноваги окисно-відновних процесів у реакторі.

ЛІТЕРАТУРА

1. Колесников В.П., Современное развитие технологических процессов очистки сточных вод в

комбинированных сооружениях / Колесников В.П., Вильсон Е.В. ; под ред. В.К. Гордеева-Гаврикова. – Ростов –на Дону : «Издательство «Юг», 2005. – 212 с. – ISBN 5-88094-069-1.

2. Thayalakumaran Nagalingam, Treatment of meat processing wastewater for carbon, nitrogen and phosphorus removal in a sequencing batch reactor : a thesis presented in partial fulfilment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy in Process & Environmental Technology at Massey University / Thayalakumaran Nagalingam. – Massey, 2002. – 221.

3. Wastewater Treatment Biological and Chemical Processes / M. Henze, P.Harremoes, J. C. Jansen, E. Arvin. – Berlin : Springer, 2002. pp.116-123.

4. Fundamentals of Biological Wastewater Treatment / Udo Wiesmann, In Su Choi, Eva-Maria Dombrowski. – Berlin : WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2007.pp.28-30. –ISBN: 978-3-527-31219-1.

5. Ястремська Л.С. Вплив окисно-відновного потенціалу середовища на розвиток анаеробного термофільного целюлолітичного штаму *Clostridium thermocellum* 5СТ /Л.С.Ястремська, В.І. Карпенко, Л.П. Голодок :мат. міжн. конф. [Сучасні проблеми біології, екології та хімії] (Запоріжжя, 29–01 квіт. 2007р.) / М-во освіти і науки України [та ін.]. – Запоріжжя: ЗНУ, 2007. – С.497–498.

RESEARCH REGIMES OF ANAEROBIC DIGESTION OF MEAT PROCESSING PLANTS IN MESOPHILIC CONDITIONS

G. Krusir, O. Chernyshova

Odessa National Academy of Food Technologies
vul. Kanatna 112 m. Odesa, 65039, Ukraine. E-mail: krusir.onaft@gmail.com

V. Polishchuk

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
vul. Heroiv Oborony 15 m. Kyiv, 03041, Ukraine. E-mail: rectorat@nubip.edu

Purpose. The aim of the study was a preliminary assessment of potential meat processing enterprises wastewater as a substrate for biogas production by anaerobic digestion by using anaerobic bioreactor. During the operation, general influence parameters the output of methane were identified as a result of anaerobic reactions. Considering the results, a series of anaerobic digestion experiments of sewage was conducted through methanogenesis at mesophilic temperature range (39±1°C). **Methodology.** Experimental research performed by substrates fermentation in periodical bioreactor UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket reactor) with a total volume of 30 dm³. During the study, these figures were subject to control: pH, redox potential (ORP) substrate, biogas yield and methane content. **Results.** The efficiency of organic contaminants removal and biogas yield during anaerobic digestion substrates was investigated with different ratios of wastewater and sludge for three cycles. Substrate which composed of waste water and activated sludge in a weight ratio of 3:1, with dry matter content of 8% and pH – 6.25 units pH was investigated during the first cycle. During the first sample fermentation biogas formed 29.5 dm³ per cycle of 18 days, the percentage of CH₄ in the biogas ranged within 62 ± 1%, the efficiency of removal of COD (chemical oxygen demand) amounted to 40.9% of organic compounds in colloidal form. In the second cycle, the substrate is represented by sewage sludge without the addition of activated sludge, with the dry matter content of 6% and pH – 6.44 units pH. The substrate is characterized by biogas formation of 6.3 dm³ with CH₄ containing of 48% and COD removal of 48.7%. Substrate, which included fat fraction wastewater and activated sludge in a weight ratio of 3: 1, with solids containing of 9%, pH - 6.2 units pH, digested in the third cycle. During fermentation the third sample was formed 16.8 dm³ biogas in 18 days cycle. The first days of third sample fermentation were characterized by a complete lack of biogas formation, but the proportion of methane formed in the resulting biogas production was 68 ± 2% and COD removal efficiency rate reached 42.8%. **Originality.** Consequently, for the first time were evaluated and compared characteristics of sewage and sewage with high content of fat fraction as substrate for biogas production by anaerobic digestion. **Practical value.** Results of the study confirmed that if the addition of activated sludge, substrates of the first and third cycles can be used to produce methane at mesophilic mode. **References 5, no tables, figures 5.**

Key words: anaerobic digestion, sewage, biogas yield, bioreactor, methane.

REFERENCES

1. Kolesnikov V. P., *Sovremennoe razvitie tehnologicheskikh processov ochistki stochnyh vod v kombinirovanyh sooruzhenijah* / Kolesnikov V.P., Vil'son E.V. ; pod red. V.K. Gordeeva-Gavrikova. – Rostov –na Donu : «Izdatel'stvo «Jug», 2005. – 212 s. – ISBN 5-88094-069-1.
2. Thayalakumaran Nagalingam, *Treatment of meat processing wastewater for carbon, nitrogen and phosphorus removal in a sequencing batch reactor : a thesis presented in partial fulfilment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy in Process & Environmental Technology at Massey University* / Thayalakumaran Nagalingam. – Massey, 2002. – 221.
3. *Wastewater Treatment Biological and Chemical Processes* / M. Henze, P. Harremoës, J. C. Jansen, E. Arvin. – Berlin : Springer, 2002. pp.116-123.
4. *Fundamentals of Biological Wastewater Treatment* / Udo Wiesmann, In Su Choi, Eva-Maria Dombrowski. – Berlin : WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2007. pp.28-30.– ISBN:978-3-527-31219-1.
5. Jastrems'ka L.S. Vpliv okisno-vidnovnogo potencialu seredovishha na rozvitok anaerobnogo termofil'nogo celjulolitchnogo shtamu *Clostridium thermocellum* 5ST /L.S.Jastrems'ka, V.I. Karpenko, L.P. Golodok :mat. mizhn. konf. [Suchasni problemi biologii, ekologii ta himii] (Zaporizhzhja, 29–01 kvit. 2007r.) / M-vo osviti i nauki Ukraïni [ta in.]. – Zaporizhzhja: ZNU, 2007. – S.497–498.